

Potencial acuícola de las salinas del Astur (Punta Umbría, Huelva, suroeste de la península Ibérica)

R. Rodríguez

Ayuntamiento de Punta Umbría. Plaza de la Constitución, s/n. E-21100 Punta Umbría (Huelva), España.
Correo electrónico: pesca@ayto-puntaumbria.es

Recibido en octubre de 2005. Aceptado en noviembre de 2005.

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la aptitud acuícola de las salinas del Astur (Punta Umbría, Huelva, suroeste de la península Ibérica), ubicadas en un estuario afectado por la presencia de importantes núcleos urbanos e industrias mineras y químicas, se han cultivado en régimen semiintensivo tres especies de interés económico en la zona: dorada *Sparus aurata* L., 1758, lenguado *Solea senegalensis* Kaup, 1858 y almeja japonesa *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850). El diseño experimental ha contemplado un programa de análisis microbiológicos, de pesticidas organohalogenados y de metales pesados según la normativa sanitaria vigente. Cuando después de 22 meses de cultivo las doradas alcanzaron un peso de 965 ± 140 g, los lenguados 437 ± 288 g y los ejemplares de almeja japonesa, transcurridos 6 meses de cultivo, alcanzaron una longitud de $18,27 \pm 2,08$ mm, los resultados de la analítica periódica realizada en vianda se mantuvieron en todo momento por debajo de los límites máximos permitidos. Así mismo, las variables de calidad del agua medidas registraron un buen ajuste a los límites recomendados, excepto para el cobre y el plomo, que alcanzaron niveles tan elevados que llegaron a afectar a la calidad sanitaria de las almejas.

Palabras clave: Cultivo asociado, almeja japonesa, dorada, lenguado, contaminación, metales pesados, paraje natural.

ABSTRACT

Aquaculture potencial of Salinas del Astur (Punta Umbría, Huelva, southwestern Iberian Peninsula)

Salinas del Astur (Punta Umbría, Huelva, southwestern Iberian Peninsula) is located in a natural park where biological richness coexists with pollution from mines, city sewage and industrial waste. The present study aimed to determine whether the gilthead *Sparus aurata* L., 1758, sole *Solea senegalensis* Kaup, 1858 and Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) could be cultured in accordance with health regulations. Heavy metals, organohalogenes and pathogens were tested in water, substrate, and the fish and clams. Growth and survival of gilthead and sole were similar to aquaculture in the Andalusian South Atlantic region. High levels of copper and lead were found in substrate and water; however, no pollutants were detected in fish after 22 months (sea bream weight: 965 ± 140 g; sole: 437 ± 288 g). Clams contained copper after 6 months (length: 18.27 ± 2.08 mm), although no pollutants over legal limits were found in molluscs.

Keywords: Associated culture, manila clam, gilthead, sole, pollution, heavy metals, natural park.

INTRODUCCIÓN

Las antiguas salinas del Astur, situadas en el Paraje Natural Marismas del Odiel, aparece

como la zona más apropiada para el desarrollo de actividades acuícolas dentro del término municipal de Punta Umbría (Huelva, suroeste de la península Ibérica), por sus óptimas característi-

cas fisicoquímicas y biológicas, así como por disponer de una infraestructura básica que exige mínima remodelación con el máximo respeto al ambiente natural del Paraje (Camacho, 1998). Este espacio protegido posee una elevada riqueza ecológica (Rubio, 1988), por la que ha sido declarado Reserva de la Biosfera por la Unesco; así mismo, está reconocido como Zona Especial de Protección para las Aves (ZEPA) por la Unión Europea e incluido en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención Ramsar sobre los Humedales (Ramsar, 2006, 1971).

Por otro lado, la calidad del agua en este paraje natural se ve afectada por la naturaleza geológica de las cuencas de los ríos Tinto y Odiel, con una actividad minera milenaria, y por la presencia de importantes núcleos urbanos e industrias químicas en el estuario que forman ambos ríos. Son diversos los trabajos publicados por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía en los que queda patente la contaminación por metales piríticos, tanto del sedimento como del agua que baña este estuario (Usero *et al.*, 2000a,b). Sin embargo, según Giráldez (1997), la ría de Punta Umbría está aislada, en buena medida, de los aportes fluviales y efluentes contaminantes de los ríos Tinto y Odiel, presentando unas condiciones ecológicas aceptables. En este sentido, Izquierdo (1995) concluye que peces autóctonos cultivados en régimen extensivo en las islas de Bacuta y La Liebre, ambas zonas dentro del Paraje Natural Marismas del Odiel, no mostraron contenidos de metales pesados en músculo más allá de los límites establecidos por la normativa sanitaria.

La práctica de la acuicultura en esta zona de alto valor ecológico se enfrenta a posibles limitaciones que deben ser cuantificadas como condición previa al desarrollo de esta emergente actividad. Por este motivo, el Ayuntamiento de Punta Umbría decidió acometer las acciones descritas en el presente trabajo, siendo su principal objetivo establecer las condiciones en las que podrían explotarse de forma industrial las antiguas salinas del Astur, cumpliendo con la normativa sanitaria vigente sobre producción acuícola. Para ello, con la cofinanciación de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía mediante fondos del Instrumento de

Orientación de la Pesca (IFOP), se pusieron en marcha, desde enero de 2002, en una superficie de 28 313 m², los cultivos experimentales que en los siguientes apartados de detallan y que finalizaron en marzo de 2004.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las instalaciones donde se han efectuado los cultivos estaban constituidas por las tres balsas centrales de la antigua salina, con superficies de 3 750 m² (estanque 1), 3 100 m² (estanque 2) y 4 300 m² (estanque 3). La altura de agua se mantuvo entre 1 y 1,5 m. La renovación del agua de cultivo se realizó mediante bombeo en los picos de marea alta durante 2 horas/marea, a razón del 25 % en los estanques 1 y 3 y del 50 % en el estanque 2, duplicándose el régimen de bombeo en los meses estivales.

En régimen semiintensivo se han cultivado dorada *Sparus aurata* L., 1758, lenguado *Solea senegalensis* Kaup, 1858 y almeja japonesa *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850), aplicándose las variables de cultivo basadas en la experiencia de explotaciones similares en la región suratlántica (tabla I).

La alimentación de las doradas se basó en la producción natural de macroorganismos planctónicos y bentónicos presentes en los estanques y en la incorporación de pienso según las tablas suministradas por el fabricante. A los lenguados no se les proporcionó alimento específico, por lo que se alimentaron con la parte del pienso de las doradas que éstas no consumieron y, sobre todo, con la macrofauna bentónica de los estanques. Las almejas filtraron el fitoplancton del agua de cultivo fertilizada con los efluentes de los peces.

En el estanque 1 se desarrolló un cultivo asociado de doradas y de almeja japonesa tutelado por Abelardo Royo Rodríguez, Jefe del Departamento de Fomento del IFAPA Agua del Pino, con la intención de determinar la viabilidad del cultivo de este molusco en una zona influida por la ría de Huelva (área expresamente excluida para la producción de moluscos por la orden de 15 de julio de 1993), así como establecer las condiciones de cultivo de dos especies compatibles en cultivos marinos de tierra.

Tabla I. Variables de cultivo.

Especie	Estanque 1		Estanque 2		Estanque 3	
	Dorada	Dorada	Lenguado	Dorada	Lenguado	Lenguado
Tamaño inicial (g/indiv)	22,70 ± 7,46	41,03 ± 11,15	105,43 ± 66,05	57,00 ± 17,25	14,46 ± 1,99	
Densidad inicial (indiv/m ²)	1,10	1,19	0,13	0,86	0,14	

La preparación del estanque 1 para albergar almejas consistió en la adición de una capa de arena gruesa de 10 cm que constituyó el lecho de enterramiento de los bivalvos (figura 1). Asimismo, en el extremo del estanque próximo al desagüe se creó, mediante una red transversal con luz de malla de 10 mm × 10 mm, un recinto exclusivo para almejas que ocupaba aproximadamente el 5 % del espejo cultivable del estanque.

En la zona exclusiva de almejas se dispusieron dos calles de 1,5 m × 11,5 m con la densidad de 813 animales/m²; en la zona común también se dispusieron dos calles de iguales dimensiones y con similar carga de almejas que las anteriores. Tanto fuera como dentro del recinto exclusivo de almejas, una de las calles se protegió con una red plástica de 5 mm × 4 mm de luz de malla para evitar la depredación (figura 1).

Con el objetivo de evaluar el preengorde de almejas en cultivo asociado, dentro del recinto exclusivo de los bivalvos se instaló una mesa metálica sobre la que se colocó un saco, denominado pochón, construido con malla plástica

de aproximadamente 50 cm × 100 cm y luz de malla variable en función del tamaño de los moluscos. Con este sistema, las almejas permanecían completamente aisladas del sustrato, a unos 50 cm por encima de éste, quedando entre dos aguas.

Para evaluar separadamente la influencia de los metales pesados en función de la dieta, se estableció un cultivo de doradas en un sistema diseñado para preengorde de peces formado por tres depósitos cilíndricos de 12 500 l, fabricados en poliéster y fibra de vidrio, con sistema de oxigenación por un tubo venturi y suministro de agua desde el estanque 2 mediante una bomba sumergible de 12 m³/h, con filtro de desbaste para impedir la entrada de materias en suspensión. En este sistema, los animales permanecían aislados respecto a la alimentación natural presente en los estanques de cultivo, por lo que fueron alimentados exclusivamente con pienso. Los resultados obtenidos serán comparados con los procedentes de los animales cultivados en los estanques de tierra.

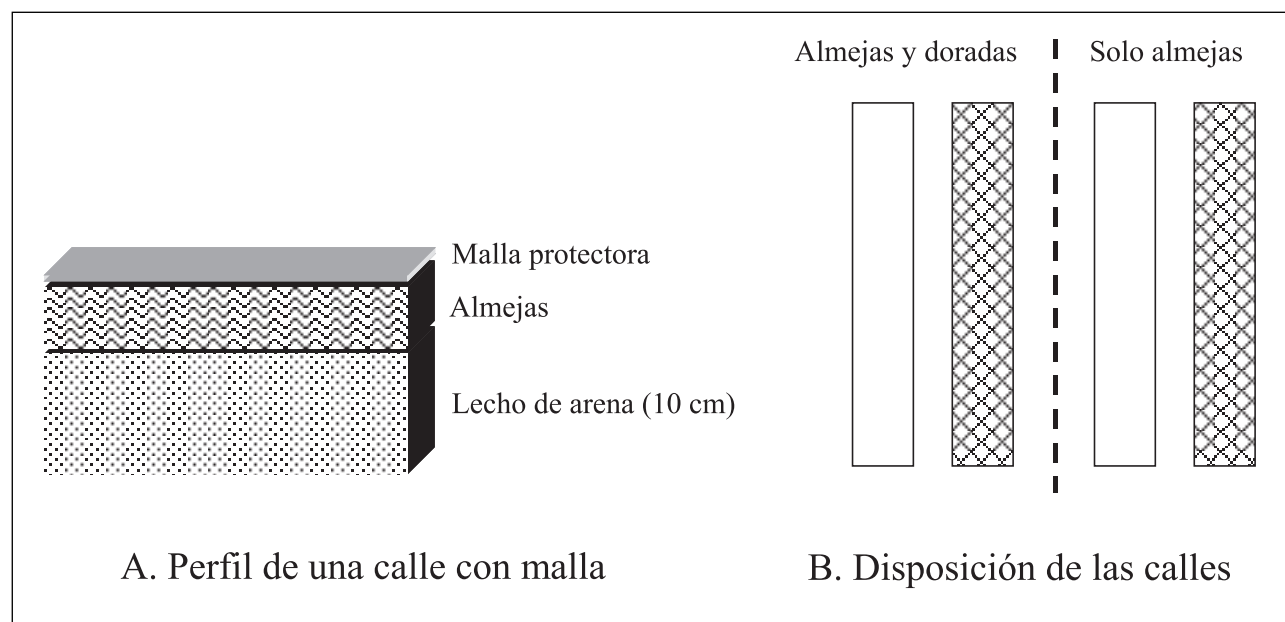


Figura 1. Esquema de siembra de almejas en el estanque 1.

Durante el desarrollo de los cultivos, se efectuó un control sanitario, tanto del medio como de los animales en cultivo, cuya frecuencia y métodos empleados se exponen en la tabla II.

Los contaminantes que han sido analizados en el presente trabajo están regulados, básicamente, por la orden de 25 de marzo de 2003, por la que se establecen las zonas de producción y protección o mejora de moluscos bivalvos, moluscos gasterópodos, tunicados y equinodermos marinos de la Comunidad Autónoma de

Andalucía, la orden de 2 de agosto de 1991 del Ministerio de Sanidad y Consumo, el real decreto 571/1999 y el reglamento (CE) 466/2001 de la Comisión modificado por los reglamentos (CE) 2375/2001 y 221/2002, que establecen los límites microbiológicos, biotoxinas y metales pesados en los productos de la pesca y acuicultura con destino al consumo humano (tabla III).

Los datos obtenidos se han tratado mediante el programa informático Excel de Microsoft Office.

Tabla II. Frecuencia y métodos empleados en los análisis. (*): las mediciones y tomas de muestras se realizaron entre las 8:00 y las 15:00 h excepto para el oxígeno, que fue medido durante las 24 horas del día cuando se consideraba bajo (por debajo de 5 ppm).

Magnitudes	Frecuencia*	Método de análisis
Cadmio	Mensual	Espectrofotometría de absorción atómica con cámara de grafito
Plomo	Mensual	Espectrofotometría de absorción atómica con cámara de grafito
Cobre	Mensual	Espectrofotometría de absorción atómica con llama
Mercurio	Mensual	Espectrofotometría de absorción atómica con sistema FIAS (generación de hidruros)
PH	Diario	Potenciometría directa (Oxyguard Handy pH)
Temperatura	Diario	Potenciometría directa (Oxyguard Handy Gamma)
Oxígeno disuelto	Diario	Electroquímico con electrodo de membrana (Oxyguard)
Amonio	Semanal	Test de amonio Merck 1.14657.0001
Nitritos	Semanal	Test de nitrito Merck 1.14658.0001
Salinidad	Diario	Refractómetro
Organohalogenados	Mensual	Cromatografía de gases
Biotoxinas	Final	Cromatografía de gases
Dioxinas	Final	Cromatografía de gases
Coliformes fecales	Mensual	NMP/100 ml (AOAC, 1995)
<i>E. coli</i>	Mensual	NMP/100 ml (AOAC, 1995)
<i>Salmonella</i>	Mensual	Aislamiento en medio selectivo

Tabla III. Límites máximos permitidos de contaminantes en productos acuícolas destinados al consumo humano. (*): se han considerado los límites para una zona A de producción (según RD 345/93).

Registros	Peces (lenguado y dorada)	Moluscos bivalvos* (almeja japonesa)
Microbiología		
Colonias aerobias mesófilas	Máximo 1×10^6 /g	—
Enterobacterias totales	Máximo 1×10^3 /g	Máximo 300/100 g o 230 <i>E.coli</i> /100 g
<i>Salmonella-Shigella</i>	AUS/25 g	AUS/25 g
Biotoxinas:		
PSP	—	Máximo 80 µg/100 g
DSP	—	Ausencia
ASP	—	Máximo 20 µg/g
Dioxinas		
PCDD + PCDF	Máximo 4 pg EQT/FOMS/g	Máximo 4 pg EQT/FOMS/g
Metales pesados		
Cadmio	Máximo 0,05 ppm	Máximo 1,0 ppm
Plomo	Máximo 0,2 ppm	Máximo 1,5 ppm
Cobre	Máximo 20 ppm	Máximo 20 ppm
Mercurio	Máximo 0,5 ppm	Máximo 0,5 ppm

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua de cultivo y sedimento

En general, los registros no metálicos de la calidad del agua de cultivo se ajustaron bien a los límites recomendados en la bibliografía (tabla IV).

Para el caso de los metales pesados en agua, los límites recomendados se basan en los criterios nacionales de calidad de las aguas aconsejado por la EPA en 1998, regulados a través del Registro Federal (EE UU) (tomado de Izquierdo *et al.*, 2000). Así, los niveles de calidad se clasifican en dos categorías diferentes.

- Criterio de concentración máxima (CCM): estimación de la máxima concentración de una sustancia en el agua a la que puede ser expuesta una comunidad acuática puntualmente sin que se produzca algún efecto no recomendado.
- Criterio de concentraciones continuas (CCC): estimación de la máxima concentración de una sustancia en el agua a la que puede ser expuesta una comunidad acuática indefinidamente sin que se produzca algún efecto no recomendable.

Las concentraciones de metales medidas, que se muestran en la tabla V, presentan un buen ajuste para el mercurio y el cadmio; en cambio, el cobre y el plomo, metales piríticos, presentan niveles por encima de lo recomendado, circunstancia muy acentuada en los meses estivales de 2002 para el cobre y durante todo 2003 para el plomo.

Las concentraciones medias de cobre registradas en las salinas del Astur superaron siem-

pre el límite del CCM (4,8 µg/l) y han sido superiores a las registradas por Izquierdo (1995) en la isla de Bacuta (3,7 µg/l) y en la de La Liebre (11 µg/l); también rebasan las registradas por Usero *et al.* (2000a) en el canal del Padre Santo (85 µg/l) y por Izquierdo *et al.* (2000) en las inmediaciones del espigón de Huelva (0,49 µg/l).

Las concentraciones medias de plomo registradas en las salinas del Astur se mantuvieron por debajo del nivel CCC (8,1 µg/l) durante 2002; sin embargo, durante todo 2003 se han registrado valores muy altos de plomo, por encima del límite CCM (210 µg/l); son también superiores a los registrados por Izquierdo (1995) en la isla de Bacuta (0,8 µg/l) y en la de La Liebre (0,9 µg/l) y del mismo orden que los máximos registrados por Usero *et al.* (2000a) en los ríos Tinto (970 µg/l) y Odiel (711 µg/l). Las grandes fluctuaciones registradas en la concentración de plomo entre 2002 y 2003 se pueden atribuir tanto a una mayor carga del metal procedente de los ríos Tinto y Odiel como a cambios fisicoquímicos o biológicos en el sedimento que han provocado una alta solubilización del plomo de éste hacia el agua.

A pesar de los altos niveles registrados en cobre y plomo, no se detectaron en los peces anomalías ni patologías asociadas a estos metales como las descritas en la bibliografía (Borrego *et al.*, 2001).

El mercurio, cuya presencia se asocia a las industrias químicas del polo industrial de Huelva, se aproximó al límite del CCC (8,2 µg/l) durante el verano de 2002, aunque en ningún momento llegó a superarlo. En general, estos resultados son similares a los valores medios

Tabla IV. Variables de calidad del agua (excluidos los metales) registradas en las salinas del Astur.

Variables	Máximo	Mínimo	Medio	Límites recomendados
Oxígeno (mg/l)	13,5	3,2	7,4	> 5 mg/l
Temperatura (°C)	30,3	7,3	19,1	16-25 °C
Salinidad	42,5	27,8	35,3	32-36
PH	8,69	7,05	7,9	7-9
Catión amonio (mg/l)	1	< 0,5	0,5	< 1 mg/l
Anión nitrito (mg/l)	0,25	< 0,05	0,1	< 0,1 mg/l
Organohalogenados (µg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 50 µg/l
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	460	< 2	107	< 10 ⁴ NMP/100 ml
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	260	< 2	53	< 10 ³ NMP/100 ml
<i>Salmonella</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente/20 ml

Tabla V. Concentraciones de metales pesados en agua registradas en las salinas del Astur.

Metales	Máximo	Mínimo	Medio	Límites recomendados	
				CCM	CCC
Cobre ($\mu\text{g/l}$)	432	38	99,8	4,8	3,1
Plomo ($\mu\text{g/l}$)	490	< 1,0	190,6	210	8,1
Mercurio ($\mu\text{g/l}$)	0,80	< 0,1	0,2	1,8	8,2
Cadmio ($\mu\text{g/l}$)	0,29	< 0,1	0,12	42	9,3

registrados por Izquierdo (1995) en la isla de Bacuta (inferiores a $0,2 \mu\text{g/l}$) y en la de La Liebre (que no llegaron a $0,2 \mu\text{g/l}$) y a las registradas por Usero *et al.* (2000a) en el canal del Padre Santo ($0,1 \mu\text{g/l}$).

El cadmio, a pesar de ser un metal pirítico, se mantuvo muy por debajo de los límites CCC recomendados ($9,3 \mu\text{g/l}$). Las concentraciones medias registradas en las salinas del Astur fueron menores, incluso, que las registradas por Izquierdo (1995) en la isla de Bacuta ($0,4 \mu\text{g/l}$) y en la de La Liebre ($3,4 \mu\text{g/l}$), a las registradas por Usero *et al.* (2000a) en el canal del Padre Santo ($5,8 \mu\text{g/l}$) y similares a las registradas por Izquierdo *et al.* (2000) en las inmediaciones del espigón de Huelva ($0,1 \mu\text{g/l}$), donde la influencia de la carga metálica de la ría de Huelva está muy atenuada.

Hay que destacar que el bombeo periódico para renovar el agua de cultivo se llevó a cabo en los picos de marea alta. En este sentido, los niveles de metales en los muestreos realizados en el estuario del Tinto y el Odiel en el trabajo de Usero *et al.* (2000a) con marea alta son inferiores a los de marea baja, debido a que con aquélla se incrementan los efectos de subida del pH, lo que implica la precipitación de metales hacia los sedimentos y la dilución por el agua marina.

Para el caso de los metales pesados en sedimento, los límites recomendados empleados en este trabajo se basan en la Guía de calidad de

sedimentos, adoptada por el NOAA's (National Status and Trends Program) (tomado de Izquierdo *et al.*, 2000). Los criterios orientan sobre los efectos biológicos que se pueden producir en el medio en función de la concentración del metal en el sedimento (tabla VI). Se definen, así, los niveles de efectos mínimos (NEM) y de efectos probables (NEP); por encima de este último estaría el nivel de efectos frecuentes (NEF).

La tabla VI muestra los contenidos de metales pesados en fango superficial y a 1 m de profundidad, medidos en junio de 2002 y octubre de 2003.

Los contenidos de cobre en superficie alcanzados en las salinas del Astur ($237,55 \text{ mg/kg}$) son superiores a los registrados por Giráldez (1997) en la ría de Punta Umbría (138 mg/kg), similares a los registrados por Izquierdo (1995) en la isla de Bacuta (221 mg/kg) e inferiores a los de la isla de La Liebre (757 mg/kg) y el canal del Padre Santo ($1\ 905 \text{ mg/kg}$) registrados por Usero *et al.* (2000b). El cobre en el sedimento de las salinas del Astur está por debajo del NEP (270 mg/kg).

El contenido de plomo en el sedimento superficial de las salinas del Astur está por debajo de los registrados por Izquierdo (1995) en la isla de Bacuta (116 mg/kg) y en la de La Liebre (285 mg/kg) y es inferior, también, al registrado por Usero *et al.* (2000b) en el canal del Padre Santo; sin embargo, fue superior al registrado por Izquierdo *et al.* (2000) fuera del

Tabla VI. Variables de calidad de sedimento registradas en las salinas del Astur, en superficie y a 1 m de profundidad. (*): se analizó únicamente la fracción menor de $63 \mu\text{m}$.

Metal (mg/kg)	En superficie*	A 1 m de profundidad*	Límites recomendados	
			NEM	NEP
Cobre	237,55	51,8	34	270
Plomo	68,8	32,1	47	220
Mercurio	< 0,02	< 0,02	0,15	0,71
Cadmio	< 0,02	< 0,02	1,2	9,6

espigón de Huelva y similar a los registrados por Giráldez (1997) en la ría de Punta Umbría (66,1 mg/kg). El plomo en el sedimento superficial en las salinas del Astur es superior, pero próximo, al NEM (47 mg/kg).

El contenido de mercurio y cadmio en el sedimento de las salinas del Astur, tanto en superficie como a 1 m de profundidad, se encuentra por debajo del NEM (0,15 mg Hg/kg; 1,2 mg Cd/kg) para ambos metales, siendo inferior que los registrados por Izquierdo (1995) en la isla de Bacuta (0,7 mg Hg/kg; 9 mg Cd/kg) y en la de La Liebre (1,6 mg Hg/kg; 19 mg Cd/kg), por Usero *et al.* (2000b) en el canal del Padre Santo (7,9 mg Hg/kg; 4,9 mg Cd/kg), por Izquierdo *et al.* (2000) en el espigón de Huelva (0,15 mg Hg/kg; 1,97 mg Cd/kg) y por Giráldez (1997) en la ría de Punta Umbría (0,43 mg Hg/kg; 66,1 mg Cd/kg).

Es importante señalar que las comparaciones entre los análisis efectuados por los diversos autores en el estuario del Tinto y el Odiel en cuanto a la granulometría de los sedimentos han arrojado una composición muy diferente respecto a las muestras tomadas en las salinas del Astur, excepto para la ría de Punta Umbría. Así, en los esteros analizados por Izquierdo (1995) los sedimentos tenían textura fina, siendo la fracción menor de 63 μ m (seleccionada para el análisis de metales) la más abundante, superando en todas sus muestras una proporción superior al 60 %. En cambio, la granulometría efectuada en los sedimentos de las salinas del Astur, revelaron que ninguna muestra superó el 21 % de fracción menor de 63 μ m; por tanto, se trata de un sustrato bastante arenoso, muy similar al registrado por Giráldez (1997) en la ría de Punta Umbría.

Como indica Giráldez (1997), los niveles basales de metales en el sedimento del estuario del Odiel se sitúan aproximadamente a 1 m de profundidad, entendiéndose aquéllos como las concentraciones constantes de metales que representan la composición natural de los sedimentos de la zona. Los niveles basales de cobre (51,8 mg/kg) y plomo (32,1 mg/kg) obtenidos en las salinas del Astur (tabla VI) son inferiores a los niveles medios registrados por Giráldez (1997) en el estuario del Odiel (127 mg Cu/kg y 81,7 mg Pb/kg); no se ha detectado la presencia de Hg ni Cd en ambos casos. Tanto los

niveles basales como los superficiales indican la presencia de los metales piríticos cobre y plomo, lo que hace pensar en su procedencia de lixiviados de la franja pirítica onubense más que de la industria química existente en la zona.

Se puede hablar, por tanto, de la existencia de una contaminación moderada de cobre y plomo en el sedimento de las salinas del Astur, causante, posiblemente, de la presencia de estos metales en el agua de cultivo, delatando cierta capacidad de intercambio de ellos entre ambos medios, lo que concuerda con trabajos similares realizados en esta zona (Izquierdo, 1995).

Poblaciones en cultivo

Los registros de crecimiento y supervivencia obtenidos en peces (tabla VII) son muy similares a los descritos en la bibliografía (Casimiro-Soriguer *et al.*, 2001; Quirós y Alvarino, 1997). El crecimiento del lenguado ha seguido el mismo patrón recogido en otros trabajos con esta especie (Dinis *et al.*, 1999), aunque con un crecimiento medio menor del esperado y con una elevada dispersión en los resultados.

En cuanto a la presencia de metales pesados en los peces, como se aprecia en la tabla VIII, los niveles registrados en cobre, plomo, mercurio y cadmio están muy por debajo de los límites máximos permitidos. A pesar de estar presente el cobre y el plomo en concentraciones considerables en el agua de cultivo y en el sedimento, no ha habido una correspondencia con los niveles de metales en vianda; y tampoco parece haber un efecto acumulativo, pues no se apreció diferencia alguna en el contenido de metales pesados conforme aumentó el tamaño de los peces muestreados.

En el caso del lenguado, los resultados obtenidos de metales pesados en carne son comparables a los obtenidos por Izquierdo (1995) en las islas de Bacuta y La Liebre y los obtenidos por Acuña *et al.* (2002) en el estuario del Guadalquivir tras el vertido pirítico de Aznalcóllar.

El contenido máximo de cadmio en músculo de lenguado de las salinas del Astur (0,005 ppm) fue menor que los registrados en la isla de Bacu-

Tabla VII. Resultados finales de peces en los tres estanques.

Especie	Estanque 1		Estanque 2		Estanque 3	
	Dorada	Dorada	Lenguado	Dorada	Lenguado	
Peso medio final (g)	452,81 ± 88,40	964,15 ± 138,96	437,33 ± 288,59	412,00 ± 86,57	105,43 ± 66,05	
Talla media final (cm)	30,27 ± 1,86	37,73 ± 1,58	31,59 ± 6,01	29,14 ± 1,92	21,29 ± 3,13	
Supervivencia (%)	82,32	83,49	129,78	84,08	71,66	
Carga final (g/m³)	410	958	74	298	11	
Duración del cultivo (meses)	18	23	8	14	14	

ta (0,03 ppm), en la de La Liebre (0,03 ppm) y en el estuario del Guadalquivir tras el vertido de Aznalcóllar (0,85 ppm).

El contenido máximo de plomo en músculo de lenguado de las salinas del Astur (0,061 ppm) fue superior a los registrados en la isla de Bacuta (0,01 ppm) y en la de La Liebre (0,01 ppm), pero inferior al registrado en el estuario del Guadalquivir tras el vertido de Aznalcóllar (2,05 ppm).

Igualmente, el contenido máximo de cobre en músculo de lenguado de las salinas del Astur (0,91 ppm) fue superior a los registrados en la isla de Bacuta (0,11 ppm) y en la de La Liebre (0,09 ppm) e inferior al registrado en el estuario del Guadalquivir tras el vertido de Aznalcóllar (23,29 ppm).

Del mismo modo, el contenido máximo de mercurio en músculo de lenguado de las salinas del Astur (0,088 ppm) fue superior a los registrados en la isla de Bacuta (0,01 ppm) y en la de La Liebre (0,01 ppm) e inferior al registrado en el estuario del Guadalquivir tras el vertido de Aznalcóllar (0,18 ppm).

En el despesque final del estanque 2 se obtuvieron algunos ejemplares adultos de lubina *Dicentrarchus labrax* L., 1758 con un tamaño medio de 400 g, que fueron sometidos a analítica de metales pesados (tabla VIII). Estos animales formaban parte del reclutamiento natural producido en el estanque central, originado por la captación de alevines en la estación de bombeo que, una vez dentro de los estanques de cultivo, se desarrollaron junto con el resto de peces cultivados. Estas lubinas, por tanto, han sido involuntariamente preengordadas y engordadas en las salinas del Astur, comprobándose la ausencia de metales pesados en su carne, al igual que ocurre con las doradas y los lenguados del cultivo.

Tabla VIII. Contenido máximo de metales registrados en músculo de lenguado y dorada (mg/kg). (*): de esta especie únicamente se ha efectuado un análisis al final del cultivo.

Metales	Lenguado	Dorada	Lubina*	Límite máximo permitido
Cd	0,005	0,008	0,001	0,05
Pb	0,061	0,090	0,013	0,2
Cu	0,910	1,230	0,240	20
Hg	0,088	0,070	0,090	0,5

En el trabajo de Izquierdo (1995) realizado con lenguados *Solea* spp., lisas *Mugil* spp. y anguilas *Anguilla anguilla* L., 1758 en zonas dentro del estuario del Odiel y cercanas a las salinas del Astur, se pudo concluir que los metales que se encuentran en concentraciones superiores en el agua son, en general, los que se acumulan más significativamente en los peces, mientras que los existentes de forma minoritaria, poseen una capacidad inferior para concentrarse en estos organismos, siendo el cobre el único cuya concentración, tanto en el agua como en el sedimento, influye de manera significativa en el incremento de su contenido en los músculos de los peces. Estas relaciones no se reflejan en los resultados obtenidos en este trabajo, puesto que, como se ha mencionado, a pesar de estar presentes el cobre y el plomo en concentraciones considerables en el agua de cultivo y en el sedimento de las salinas del Astur, no ha habido una correspondencia con los niveles de metales registrados en carne.

Como indica Izquierdo (1995), una vez que los metales han sido captados por el pez, se puede producir la acumulación de estos elementos en diversos órganos y tejidos como resultado de su distribución, biotransformación y, en gran medida, por su excreción, pero en el músculo solo se detectan incrementos de contenido

metálico cuando el nivel de la contaminación es muy elevado. Esta puede ser la respuesta a la ausencia de metales en músculo de pescado registrada en los análisis de los peces cultivados en las salinas del Astur.

En el preengorde y el engorde llevados a cabo con doradas alimentadas exclusivamente con pienso, no hubo diferencia alguna en el contenido de metales pesados frente a las doradas engordadas en los estanques de tierra (tabla IX). Así, tras 10 meses de cultivo, los animales alcanzaron 166 ± 27 g y pueden ser comparados, en cuanto al tamaño, con el muestreo de metales realizado en el estanque 2 en julio de 2002, y en cuanto al tiempo de permanencia en las instalaciones, con el muestreo de metales efectuado en el estanque 3 en diciembre de 2002. Con estos datos se ha podido determinar que, en las condiciones ensayadas, aunque las doradas interactúan con el medio depredando sobre macrofauna planctónica y bentónica, ello no ha sido un factor determinante en la acumulación de cobre, plomo, cadmio y mercurio.

Al final del cultivo en el estanque 2, se destinaron ejemplares de lenguado y dorada al análisis de las dioxinas, resultando concentraciones inferiores a 1 pg EQT/F-OMS/g, que están dentro de los límites permitidos por la normativa vigente (máx 4 pg EQT/F-OMS/g) (tabla III).

Para estudiar la presencia de bacterias en los peces, se hizo un primer muestreo antes de comenzar los cultivos, registrándose niveles por encima de lo permitido (NMP = 92 000 coliformes fecales/100 ml), posiblemente debido a la manipulación y mala conservación de los animales sacrificados. En cambio, una vez iniciados los cultivos experimentales (abril de 2002), el análisis microbiológico de doradas reveló unos niveles muy por debajo de los límites permitidos (NMP = 78 coliformes fecales/100 ml). A partir

de entonces, no se realizaron más muestreos para microbiología en peces, debido a que los niveles de coliformes en agua se mantuvieron dentro de los límites recomendados, por lo que se utilizaron estas mediciones como indicativo de la posibilidad de aparición de bacterias en los peces (tabla III). En este sentido, hay que destacar que los controles sanitarios en peces respecto a registros microbiológicos son aplicables a la frescura del producto, por lo que, a efectos prácticos, se llevan a cabo en lonjas y centros de expedición, donde los peces ya han sido sacrificados.

En lo que se refiere a los moluscos, el preengorde de almeja japonesa se inició en julio de 2002 con 10 000 semillas de $7,15 \pm 1,19$ mm, alcanzando en diciembre del mismo año una talla de $13,84 \pm 2,39$ mm y una supervivencia de 60,02 %; los ejemplares supervivientes fueron separados en dos lotes diferentes: uno de 3 760 semillas de $11,2 \pm 2,57$ mm (pochón 1) y otro de 2 242 semillas de $18,27 \pm 2,08$ mm (pochón 2). En los meses de invierno el crecimiento se ralentizó, obteniéndose en febrero de 2003 una talla de $11,59 \pm 2,25$ mm y supervivencia de 77,36 % en el pochón 1, mientras en el pochón 2 se alcanzó un tamaño de $18,93 \pm 1,93$ mm con supervivencia de 57,70 %. Las almejas del pochón 2 fueron sembradas en el recinto exclusivo para almejas, dentro de una zona acotada de 1 m², con 20 cm de arena gruesa como lecho de enterramiento. En mayo de 2003 las semillas sembradas procedentes del pochón 2 presentaron una mortalidad del 100 %, mientras en el pochón 1 se obtuvo una talla de $14,41 \pm 2,37$ mm y una supervivencia de 62,86 %. De esta forma, el preengorde de almeja japonesa obtenido fue equivalente al registrado en la bibliografía (Royo y Ruiz Azcona, 2005); sin embargo, los engordes en el sustrato, tanto de las almejas pre-

Tabla IX. Contenido de metales (mg/kg) en doradas alimentadas exclusivamente con pienso frente a las alimentadas en los estanques de tierra.

Metales	Abr-03 en preengorde (166 g; 10 meses)	Jul-02 en estanque 2 (164 g)	Dic-02 en estanque 3 (10 meses)	Límites máximos permitidos
Cd	0,002	0,002	0,001	0,05
Pb	0,04	0,046	0,05	0,2
Cu	0,69	0,47	0,4	20
Hg	0,01	0,065	0,055	0,5

Tabla X. Resultados del engorde de almeja en sustrato del estanque 1.

Registros	Almejas junto con doradas		Recinto exclusivo de almejas	
	Sin malla	Con malla	Sin malla	Con malla
Junio-02				
Talla (mm)	12,27 ± 1,41	12,27 ± 1,41	12,27 ± 1,41	12,27 ± 1,41
N.º de individuos	14 000	14 000	14 000	14 000
Julio-02				
Talla (mm)	Sin muestreo	Sin muestreo	14,21 ± 1,20	13,58 ± 1,71
N.º de individuos	Sin muestreo	Sin muestreo	Sin muestreo	Sin muestreo
Dic-02				
Talla (mm)	Sin muestreo	24,33 ± 2,69	Sin muestreo	21,67 ± 2,44
Mortalidad (%)	100	21,05	100	68,42
Feb-03				
Talla (mm)	Sin muestreo	Sin muestreo	Sin muestreo	Sin muestreo
Mortalidad (%)	100	100	100	100

engordadas del pochón 2 como las sembradas en las calles del estanque 1 (tabla X) no han prosperado, debido, en primer lugar, a la depredación sufrida en las calles sin malla protectora, ya sea por parte de doradas o cangrejos *Carcinus maenas* L., 1758, puesto que tanto en el recinto exclusivo de almejas como en el compartido con doradas, las calles que no contaban con malla protectora registraron mortandad del 100 % tras 6 meses de cultivo, reduciéndose a tres meses para el caso del pochón 2 sembrado sobre arena. Las almejas sembradas en calles que disponían de malla de protección lograron sobrevivir algún tiempo más, pero sin superar los 8 meses tras la siembra. Esto es debido a varios factores, entre los que destaca la aparición de una capa de material muy fino sobre el lecho de las almejas, de 2,5 cm de espesor en el área compartida con doradas y de 10 cm de espesor en zona exclusiva de almejas. El continuo ramoneo que sobre el sustrato ejercen las doradas, propició que la capa de material fino sedimentado sobre las calles compartidas fuera menor que en la zona exclusiva de almejas.

En cuanto a presencia de metales pesados en almeja japonesa, se realizó un único análisis tras 6 meses de cultivo en el que, con una talla de $18,27 \pm 2,08$ mm, los animales alcanzaron niveles de cobre próximos a los límites permitidos, aunque sin rebasarlos (tabla XI). Estos resultados están en consonancia con los obtenidos con chirlas *Chamelea gallina* L., 1758 en las zonas litorales afectadas por los aportes con-

taminantes de la ría de Huelva (Acuña Rivero *et al.*, 2002).

El resto de analítica prevista para las almejas (microbiología, biotoxinas y dioxinas) no llegó a efectuarse debido a que se registró una completa mortandad de los moluscos antes de haber alcanzado el tamaño apropiado para ello.

Tabla XI. Concentraciones de metales pesados en almeja japonesa (mg/kg).

Metal	Muestra en diciembre 2002	Límite máximo permitido
Cd	0,39	1,0
Pb	0,185	1,5
Cu	14,03	20
Hg	0,02	0,5

Con los resultados obtenidos se puede afirmar que el preengorde de almeja japonesa en las salinas del Astur es factible, siendo un molusco que ofrece excelentes perspectivas de futuro, atendiendo a los altos rendimientos que pueden obtenerse –unos 10 kg/m², con densidades de 1 500 almejas/m², en periodos de 12-14 meses (Royo *et al.*, 2002)–, previsiblemente se originará una alta demanda de semillas preengordadas para los próximos años.

CONCLUSIONES

Las variables de calidad de agua que han sido registradas en el presente trabajo (oxígeno,

amonio, nitrito, pH, temperatura, salinidad y organohalogenados) presentaron, en general, buen ajuste a los límites recomendados en la bibliografía y la experiencia en cultivos similares practicados en la región suratlántica.

Respecto a los metales pesados medidos en el agua de cultivo (cobre, plomo, mercurio y cadmio), fueron detectadas concentraciones considerables de cobre y plomo, estando en estrecha relación con el contenido de ambos metales piríticos determinados en el sedimento superficial de la zona. Sin embargo, no fue registrado ningún efecto negativo sobre el desarrollo de los cultivos.

En cuanto al contenido de metales en los animales cultivados, los peces se mantuvieron en todo momento muy por debajo de los límites establecidos en la legislación vigente, no detectándose ningún proceso de acumulación de metales en peces durante los dos años que duró el cultivo; por tanto, la presencia de cobre y plomo en los niveles hallados en el medio de cultivo, no ha afectado a la calidad sanitaria del producto. Ésta, por el contrario, sí se vio afectada en los moluscos por la presencia de metales en el medio, pues, aunque no se sobrepasaron los límites establecidos en la legislación, se observó acumulación de cobre en carne.

Las salinas del Astur es una zona apta para el prengorde y el engorde de peces en estanques de tierra, tal y como se viene efectuando en la región suratlántica. En cuanto a moluscos, es factible el preengorde, desaconsejándose el engorde.

AGRADECIMIENTOS

La primera fase de cultivo acuícola en las salinas del Astur la ha llevando a cabo el Ayuntamiento de Punta Umbría, con la participación de la Junta de Andalucía mediante fondos comunitarios del IFOP, en el ámbito económico, y en el técnico, mediante la asistencia de IFAPA Agua del Pino y El Toruño y la Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía (EPDAP). Asimismo, han colaborado el Centro de Recepción de Calatilla del Paraje Natural Marismas del Odiel y el Departamento de Química y Ciencias de los Materiales de la Universi-

dad de Huelva. Las labores de administración y dirección técnica del proyecto está siendo efectuada por la Red de Asesoramiento Técnico de la Pesca y la Acuicultura de la Provincia de Huelva, gracias al convenio de colaboración firmado por la Diputación Provincial de Huelva y el Ayuntamiento de Punta Umbría, cofinanciada por la Junta de Andalucía con fondos de la Unión Europea.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña Rivero, M. T. de, L. Pérez, C. Jiménez, J. Collado, D. Arana, D. Hernández, A. Sánchez, L. F. Valle, D. Acosta, R. M. Palomar, M. C. Sánchez y L. Mamán. 2002. Contaminación por metales pesados, PCBs, plaguicidas organohalogenados y radionúclidos en moluscos bivalvos. En: *Jornada Técnica sobre Efectos de los Contaminantes en los Recursos Pesqueros y Marisqueros del Litoral Andaluz: Nuevas Metodologías Analíticas* (16 de enero, 2001. Sevilla, España): 29-79. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- AOAC. 1995. AOAC official method 991.15: Total Coliforms and *Escherichia coli* in water. En: *Official methods of analysis of AOAC Internacional* (16th ed.). P. Cunniff (ed.). Association of Official Analytical Chemists International. Arlington, Virginia, EE UU: 15-17.
- Borrego, J. J., D. Castro, M. C. Balebona, M. E. García-Rosado y L. López-Cortés. 2001. *Patologías que afectan al cultivo de la dorada (Sparus aurata) en la Comunidad de Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla, España: 82 pp.
- Camacho, J. 1998. *Estudio de planificación del uso público del área de la Peguera y marismas del Astur (TM Punta Umbría, Huelva)*. Tragsa; Junta de Andalucía. Sevilla, España: 146 pp.
- Casimiro-Soriguer, M., J. A. Hernando, C. Vallespin y C. Zabala. 2001. *Estudios sobre el cultivo semi-intensivo de la dorada en granjas marinas*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla, España: 45 pp.
- Dinis, M. T., L. Ribeiro, F. Soares y C. Sarasquete. 1999. A review on the cultivation potential of *Solea senegalensis* in Spain and in Portugal. *Aquaculture* 176: 27-38.
- Giráldez, M. I. 1997. *Caracterización de la movilidad de metales en sistemas sedimentarios naturales: aplicación al Paraje Natural Marismas del Odiel*. Tesis doctoral. Departamento de Química y Ciencias de los Materiales. Universidad de Huelva. Huelva, España: 458 pp.
- Izquierdo, C. 1995. *Estudio comparativo de la contaminación por metales de aguas, sedimentos y peces en esteros de las Marismas del Odiel y la Bahía de Cádiz*. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla. Sevilla, España: 245 pp.

- Izquierdo, C., A. F. Cantalejo, F. Fernández, A. Leal, C. Ollero, A. Maraver y J. Fraidias. 2000. *Estudio de caracterización del mar territorial andaluz*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, España: 111 pp.
- Quirós, M. y M. R. Alvarino. 1997. El medio en la acuicultura continental y marina. En: *Zootecnia bases de producción animal: Producción animal acuática*. C. Buxadé (ed.) XIII: 30-49. Mundi-Prensa. Madrid.
- Ramsar, 2006, 1971. <http://wetlands.org/rsis/>
- Royo, A., D. Quintero, M. Hurtado Burgos y M. Hurtado Cancelo. 2002. Cultivo de almeja japonesa *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) a altas densidades de siembra y en zona intermareal. En: *VIII Congreso nacional de acuicultura: Acuicultura y desarrollo sostenible* (22-25 de mayo, 2001. Santander, Cantabria, España). I. Arnal Atarés, C. Fernández-Pato, C. Martínez-Tapia y C. Mosquera de Arancibia (eds.). *Boletín. Instituto Español de Oceanografía* 18 (1-4): 349-356.
- Royo, A. y P. Ruiz Azcona. 2005. Cultivo intensivo de almeja japonesa *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) en la zona intermareal. En: *IX Congreso Nacional de Acuicultura (Cádiz, mayo 2003). La acuicultura como actividad económica en las zonas costeras: Libro de Actas* (12-16 de mayo, 2003. Cádiz, España): 223-228. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. Sevilla, España.
- Rubio, J. C., 1988. *Plan rector de uso y gestión del Paraje Natural de las Marismas del Odiel. Primera parte. Información general*. Servicio de Publicaciones del BOJA. Junta de Andalucía. Sevilla, España: 46 pp.
- Usero, J., I. Gracia, A. Leal y J. Fraidias. 2000a. *Calidad de las aguas y sedimentos del litoral de Andalucía, Plan de policía (1995-1998)*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, España: 164 pp.
- Usero, J., J. Morillo, I. Gracia, A. Leal, C. Ollero, J. Fraidias y P. Fernández. 2000b. *Contaminación metálica y toxicidad en los sedimentos de los ríos Tinto y Odiel*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, España: 104 pp.